

функции Рэлея. Проводится расчет динамических характеристик данных систем и исследование их поведения при изменении параметров системы. Проведенные расчеты показывают аномальное возрастание частоты ферромагнитного резонанса при приближении к точке компенсации углового момента T_A ($\frac{M_1}{\gamma_1} = \frac{M_2}{\gamma_2}$), где γ_i является гиромагнитным отношением для конкретной подрешетки, M_i – подрешеточная намагниченность ($i = 1, 2$). В других ферромагнетиках, где отсутствуют условия компенсации углового момента, обсуждаемые эффекты не реализуются.

Список публикаций:

- [1] Барьяхтар В.Г., Иванов Б.А., Четкин М.В.// Динамика доменных границ в слабых ферромагнетиках. УФН. 1985. Т. 146. В. 3
[2] S. K. Kim// Fast and efficient switching with ferrimagnets. Nature Electronics. 2020. 3 (1). 18–19pp.

Параметры обменного взаимодействия ОЦК кристалла железа

Филин Сергей Юрьевич

Волгоградский государственный университет

Лебедев Николай Геннадьевич, д.ф.-м.н.

steam-sf97@mail.ru

Железо – это один из самых распространенных элементов в природе, составляет основу магнитомягких углеродистых и неуглеродистых сталей [1]. Среди полиморфных модификаций наиболее стабильной является кристаллическая структура - объемно-центрированная кубическая (ОЦК или α -фаза). ОЦК решетка является ферромагнитной до критической температуры 1045 К.

Экспериментальное и теоретическое изучение магнитного отклика ферромагнитного образца на его деформацию (эффект Виллари) является объектом активного научного исследования уже более века [2]. Однако изучение параметров обменного взаимодействия является актуальным для развития сформировавшегося недавно нового научного направления – стрейнтроники [3], использующей эффекты в твердых телах, обусловленные деформациями и приводящие к изменению зонной структуры, проводящих и магнитных свойств материалов. Подобные эффекты позволяют реализовать новое поколение устройств информационных и сенсорных технологий.

Цель настоящей работы является расчёт параметров обменного взаимодействия в ОЦК кристалла железа. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: выполнить расчёт электронного строения одного и двух связанных атомов железа; расчёт параметров обменного взаимодействия для одного и двух связанных атомов железа; выявить зависимость обменного взаимодействия от суммарного спина системы и межатомного расстояния. Для расчета параметров обменного взаимодействия использовался неограниченный метод Хартри - Фока с базисами атомных орбиталей STO-3G и 6-31G [4].

Как следует из результатов квантово-химических расчётов, полная энергия элементарной ячейки (ЭЯ) в целом убывает с ростом мультиплетности M системы, что свидетельствует об энергетически более устойчивом состоянии с высшими спинами. Расширение атомного базиса до 6-31G приводит к появлению минимума на кривой зависимости $E(M)$ при $M = 7$, что соответствует полному спину $S = 3$.

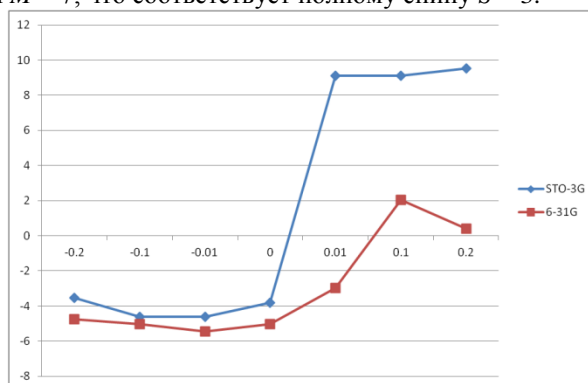


рис. 1 Энергия обменного взаимодействия J (эВ) как функция относительного межатомного расстояния δ для спина $S_{max}=3$

Для изучения деформационных эффектов в кристалле α -железа рассчитана зависимость полной энергии ЭЯ от относительного расстояния $\delta = \pm 0.01, \pm 0.1, \pm 0.2$ между атомами Fe для различной мультиплетности. Показано, что в зависимости от спинового состояния энергетический минимум может смещаться из положения $\delta = 0$ в положение $\delta = 0.01, 0.1$. Для некоторых значений мультиплетности, например, $M = 7$ (STO-3G) и $M = 9$

(6-31G), отсутствует четко выраженный энергетический минимум. Это означает, что деформация ЭЯ ведет к нарушению устойчивости системы.

Результаты расчета параметров обменного взаимодействия в ЭЯ кристалле α -железа как функций относительного расстояния δ показали, что, например, для спинового состояния $S = 3$ (мультиплетность $M = 7$) оба использованных базиса показывают монотонный рост энергии обменного взаимодействия с увеличением δ . Причем при $\delta = 0.01$ (STO-3G), 0.1 (6-31G) наблюдается смена знака параметра обменного взаимодействия J (рис. 1). Это означает возможность деформационного фазового перехода типа «ферромагнетик - антиферромагнетик».

Полученные результаты свидетельствуют о возможности управления магнитным упорядочением в ОЦК кристалле α -железа с помощью механических деформаций.

Список публикаций:

- [1] Гуляев А.П. *Металловедение*. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
- [2] Вонсовский С.В. *Магнетизм*. М.: Наука, 1971. 1032 с.
- [3] Бухараев А. А., Звездин А. К., Пятко А. П., Фетисов Ю. К. // УФН. 2018. Т. 188. № 12. С. 1288.
- [4] Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. *Теория строения молекул*. Ростов-на-Дону: Феникс, 1997. 560 с.

Перспективные технологии снижения размагничивания линейной части магистрального трубопровода

Якшибаев Булат Робертович

Загидуллин Ринат Васикович, Бакиев Тагир Ахметович

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Бакиев Тагир Ахметович

Yakshibayev@mail.ru

В процессе эксплуатации металл магистральных стальных трубопроводов приобретает остаточную намагниченность. Она может быть обусловлена различными причинами: за счет влияния магнитного поля магнитных очистных скребков и магнитных систем внутритрубных магнитных снарядов-дефектоскопов, случайного воздействия сторонних источников магнитных полей, а также при проведении электрической сварки стыков стальных труб и т. д.

В общем случае остаточная намагниченность металла стальных трубопроводов распределяется неоднородно, как по длине, так и по периметру стальной трубы (напряженность поля остаточной намагниченности, измеренная около кромки по периметру стальной трубы, может отличаться от среднего значения на 30%...80%), при этом в ряде случаев она может иметь весьма значительную величину. Последнее относится к магнитному состоянию стального трубопровода после магнитной дефектоскопии, когда металл стальной трубы намагничивается до состояния, близкого к техническому насыщению, что необходимо для обеспечения надежного выявления поверхностных и внутренних дефектов сплошности металла на фоне [1].

После технологических операций, при которых возникает остаточная намагниченность стального трубопровода, должно осуществляться последующее размагничивание металла проконтролированного линейного участка стального трубопровода. Это базовый принцип неразрушающих методов контроля материалов и изделий: до и после проведения неразрушающего контроля промышленного объекта, изделия, его технические параметры (форма, линейные размеры) и физические свойства (механические, электрические и магнитные) должны оставаться неизменными.

В связи с этим следует отметить негативное влияние остаточной намагниченности стального трубопровода при его дальнейшей эксплуатации:

1. Полностью или частично меняется магнитное состояние стального трубопровода, сформированное при сложном напряженном состоянии металла в слабом геомагнитном поле. Это обстоятельство практически исключает дальнейший дистанционный магнитометрический контроль напряженного состояния металла подземного стального трубопровода, так как результаты магнитометрического контроля будут иметь низкую надежность [2];

2. Существенно затруднена электрическая сварка кольцевых сварных соединений стальных труб при проведении ремонтно-восстановительных работ на дефектном участке стального трубопровода.

Взаимодействие тока электрической дуги и сильного поля остаточной намагниченности металла внутри разделки стальных труб приводит к неустойчивости дуги сварки и к разбрызгиванию металла (эффект магнитного дутья), и вследствие этого невозможно добиться высокого качества сварного соединения;